

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 11177161  
PUBLICATION DATE : 02-07-99

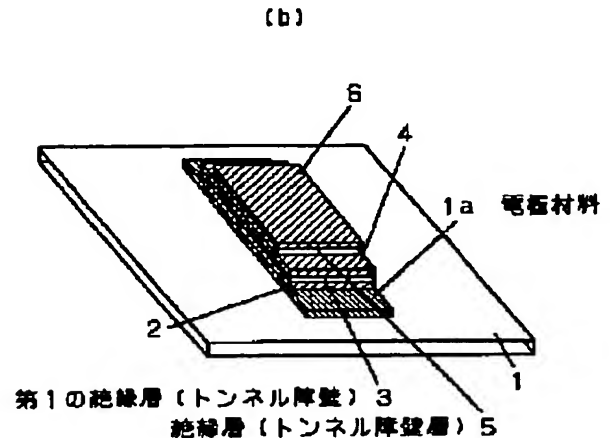
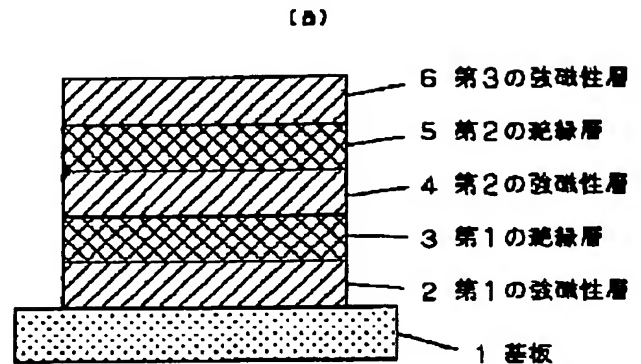
APPLICATION DATE : 12-12-97  
APPLICATION NUMBER : 09342456

APPLICANT : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD;

INVENTOR : FUKAZAWA TOSHIO;

INT.CL. : H01L 43/08 G01R 33/09 G11B 5/39  
H01F 10/08

TITLE : MAGNETORESISTANCE EFFECT  
ELEMENT AND MAGNETIC  
RELUCTANCE EFFECT TYPE THIN  
FILM HEAD



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetoresistance effect type element of high sensitivity and output, and to improve and stabilize head characteristics.

SOLUTION: Related to a structure comprising two joints of first ferromagnetic layer 2/insulating layer (tunnel barrier layer)/second ferromagnetic layer 4/insulating layer (tunnel barrier layer)/third ferromagnetic layer 6, a part of the insulating layer is left non-oxidized to keep the tunnel barrier layer stable. Or, a tunnel barrier protective layer is inserted in an interface. Further, for improved characteristics, a multi-layer structure is all generated in vacuum. Thus, the interface of the tunnel barrier layer is protected, characteristics is stabilized, and heat-resistance is improved. Manufacturing in vacuum leads to smaller specific resistance for improved characteristics. So, application to a high-sensitivity magnetoresistance effect element, MR head, etc., is possible.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-177161

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月2日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 43/08

H 0 1 L 43/08

Z

G 0 1 R 33/09

G 1 1 B 5/39

G 1 1 B 5/39

H 0 1 F 10/08

H 0 1 F 10/08

G 0 1 R 33/06

R

審査請求 未請求 請求項の数19 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号

特願平9-342456

(22) 出願日

平成9年(1997)12月12日

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 入江 庸介

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 横山 和夫

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 楠本 修

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 滝本 智之 (外1名)

最終頁に続く

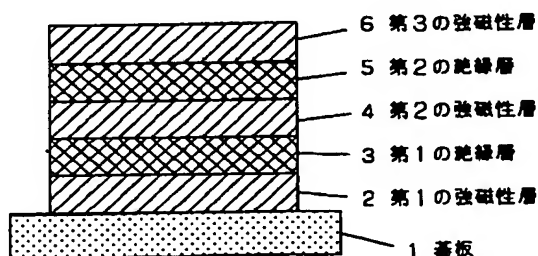
(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子及び磁気抵抗効果型薄膜ヘッド

(57) 【要約】

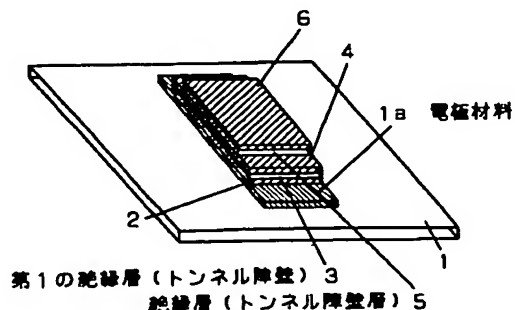
【課題】 高感度・高出力な磁気抵抗効果型素子、ヘッドの特性の向上および安定化を実現する。

【解決手段】 第1の強磁性層／絶縁層（トンネル障壁層）／第2の強磁性層／絶縁層（トンネル障壁層）／第3の強磁性層の2つの接合を有する構造においてトンネル障壁層を安定に保つために絶縁層の一部を酸化させないで残す。または、トンネル障壁保護層を界面に挿入する。さらに特性向上を実現するために多層構造を全て真空中で作成する。以上により、トンネル障壁層の界面が保護され、特性が安定するとともに耐熱性も向上する。また、真空中で作成することで比抵抗も小さくでき特性改善につながる。したがって高感度磁気抵抗効果素子、MRヘッド等への応用が可能となる。

(a)



(b)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に形成された少なくとも3つ以上強磁性層と少なくとも2つ以上のトンネル障壁を有する強磁性トンネル接合において、トンネル障壁層を形成する層の全部がトンネル障壁層であることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 基板上に形成された少なくとも3つ以上強磁性層と少なくとも2つ以上のトンネル障壁を有する強磁性トンネル接合において、トンネル障壁層を形成する層の一部がトンネル障壁層であることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 基板上に形成された少なくとも3つ以上強磁性層と少なくとも2つ以上のトンネル障壁を有する強磁性トンネル接合において、トンネル障壁層を形成する層の少なくとも片側にトンネル障壁防護層となるような膜が挿入されてなることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 トンネル障壁層が1.5nm以下であることを特徴とする請求項1～請求項3記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 トンネル障壁防護層となるような膜が金属膜であることを特徴とする請求項3記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項6】 金属膜が非磁性金属膜であることを特徴とする請求項5記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項7】 金属膜が磁性膜であることを特徴とする請求項5記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項8】 磁性膜が強磁性膜であることを特徴とする請求項7記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項9】 磁性膜が反強磁性膜であることを特徴とする請求項7記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項10】 トンネル障壁防護層となるような膜が酸化物膜であることを特徴とする請求項3記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項11】 酸化物膜が非磁性金属酸化物膜であることを特徴とする請求項10記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項12】 酸化物膜が磁性酸化物膜であることを特徴とする請求項10記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項13】 磁性層膜が強磁性酸化膜であることを特徴とする請求項12記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項14】 酸化物膜が反強磁性酸化膜であることを特徴とする請求項12記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項15】 トンネル障壁防護層が10nm以下であることを特徴とする請求項5～請求項9記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項16】 トンネル障壁防護層が0.5nm以下であることを特徴とする請求項10～請求項14記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項17】 基板上に形成された少なくとも3つ以上強磁性層と少なくとも2つ以上のトンネル障壁を有する

強磁性トンネル接合において、これらの多層構造を真空中で全て作成することを特徴とする磁気抵抗効果素子の作成方法。

【請求項18】 基板上に形成された少なくとも3つ以上強磁性層と少なくとも2つ以上のトンネル障壁を有する強磁性トンネル接合において、これらの多層膜をスパッタによって作成することを特徴とする磁気抵抗効果素子の作成方法。

【請求項19】 請求項1～16に記載の磁気抵抗効果素子を再生ギャップの中に配置して成る磁気抵抗効果型ヘッド。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、例えば磁気エンコーダ、磁気記録媒体より信号を読みとるための磁気抵抗効果素子及び磁気抵抗効果型ヘッドに関するものである。特に高密度記録媒体からの読みだしに使用する素子として強磁性トンネル効果を利用した素子として各所で広く研究開発が進められている。

## 【0002】

【従来の技術】従来より磁気抵抗効果素子を用いた磁気抵抗効果型ヘッド（以下、MRヘッドという）等の開発が進められている。近年、マルチメディア化にともなうデータの大容量化により大容量記憶装置の需要が高まっている。大容量記憶装置の中でも特にハードディスクドライブ（以下HDDという）は、大容量、高速データ転送、安価という点からパーソナルコンピュータなどを中心にその需要が高まっている。このような流れから、HDDは高密度化の傾向にあり、HDDを支えるデバイスの一つであるMRヘッドは高記録密度かにもない高感度で峡トラッキング化、峡ギャップ化が要求されている。このような要求からMRヘッドまたはスピンバルブヘッドより高感度な磁気抵抗効果を示す素子として前記強磁性トンネル素子があり、磁気抵抗効果素子及び磁気抵抗効果型ヘッドとしての利用が検討されている。

【0003】図4(a)に強磁性トンネル素子の従来例を示す。素子構成は、基板1上に積層された第1の強磁性層2、第1の絶縁層3、第2の強磁性層4、第2の絶縁層5、第3の強磁性層6からなる。第1の強磁性層2上に形成された電極5は電流端子（+）、電極6は電圧端子（-）、第2の強磁性層4上に形成された電極7は電流端子（-）、電極8は電圧端子（-）である。

【0004】図4(b)に強磁性トンネル素子の断面図を示す。このような第1の強磁性層2/絶縁層（トンネル障壁）3/第2の強磁性層4からなる接合が一つである強磁性トンネル素子の場合、そのコンダクタンスは（数1）のように示される。

## 【0005】

【数1】

$$G=R^{-1}=\sum_{\sigma=\pm} |T|^2 D_{A\sigma}(E_F) D_{B\sigma}(E_F+eV) \quad \dots\dots (式1)$$

$D_{A\sigma}(E), D_{B\sigma}(E)$  : 2つの金属A、Bの電子  
の各スピン成分の状態密度

R : 電気抵抗

V : 印可電圧

$E_F$  : フェルミ・エネルギー

$$|T|^2 = \exp(-2Sx)$$

$$x = (2m\phi)^{1/2} / \hbar$$

m : 電子の質量

$\phi$  : 障壁の高さ

S : 障壁の幅

$$TMR = \frac{G_{\uparrow\uparrow} - G_{\uparrow\downarrow}}{G_{\uparrow\uparrow} + G_{\uparrow\downarrow}} = P_A P_B \dots\dots (式2)$$

$P_A, P_B$  : 電極A、Bでの状態密度の分極の  
割合を示す量。

$$P = \frac{D_{\uparrow+} - D_{\uparrow-}}{D_{\uparrow+} + D_{\uparrow-}}, \quad (\uparrow = A, B)$$

【0006】従ってフェルミ単位での状態密度はスピン依存する。そのため第1の強磁性層と第2の強磁性層の磁化の方向が平行にした場合と反平行にした場合とではトンネル・コンダクタンスが違ってくる。今、磁化を平行にした場合と反平行にした場合のコンダクタンスをそれぞれ $G_{\uparrow\uparrow}$ 、 $G_{\uparrow\downarrow}$ とすると式1よりトンネル磁気抵抗効果(Tunneling Magnetoresistance略してTMR)は式3で与えられる。以上より遷移金属強磁性体の場合TMRは第1の強磁性層と第2の強磁性層のスピン分極そのものの積で表されることがわかっている(IEEE Transactions on Magnetics, Vol. MAG-18, No. 2, March 1982)。

【0007】これより、良好なTMR効果(抵抗が低く、抵抗変化率が大い)を得るためには第1の強磁性層、第2の強磁性層各々の磁性材料について分極率の高い材料を用いたり、量子トンネル効果本来の特性を上げるしか方法はない。しかし、遷移金属強磁性体で分極率の高い材料で報告があるのはFeCo等であり、また良好なトンネル効果が得られている絶縁体は $NiO$ 、 $Al_2O_3$ 等である。このように現在では、強磁性トンネル効果本来の特性をさらに上げるために使用できる材料は限られている。

【0008】また、図4(c)に示すように構造的に特性を向上させる方法としては、第1の強磁性層2/第1

の絶縁層3/第2の強磁性層4/第2の絶縁層5/第3の強磁性層6という多層構造にして第1の強磁性層2/第1の絶縁層3/第2の強磁性層4から構成される接合の出力と第2の強磁性層4/第2の絶縁層5/第3の強磁性層6から構成される接合Bの出力を差分検出する方法がある(特開平-251618)。

【0009】しかし、トンネル障壁を形成する絶縁層を作成する場合、Al、またはNiをプラズマ酸化あるいは自然酸化により酸化させる。このとき酸化層(絶縁層)の厚みはプラズマを発生時間または酸素導入時間と導入量によって制御される。この時間や導入量が多すぎてトンネル接合を形成する磁性層まで酸化してしまうと特性が劣化してしまう。また、実際の素子として使用する場合には、素子作成時に加わる熱でトンネル接合部の磁性層にトンネル障壁形成している絶縁層の酸素が拡散して酸化されたり、強磁性層の結晶が成長してトンネル障壁層を突き破り(電氣的にショートする)特性が劣化する。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明は第1の強磁性層2/第1の絶縁層(トンネル障壁)3/第2の強磁性層4/第2の絶縁層(トンネル障壁)5/第3の強磁性層6の基本構成を用いる素子において、トンネル接合を形成する磁性層に対する酸素の拡散を防止するとともに強磁性層に熱が加わることで結晶粒が成長し、トンネル

障壁層を突き破り破壊してしまう(電氣的にショートする)などによって劣化する磁気抵抗効果特性を安定化し、高感度で高密度記録に対応できる磁気抵抗効果素子および磁気抵抗効果型ヘッドを実現するものである。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するために、この発明の磁気抵抗効果素子、及び磁気抵抗効果型ヘッドは以下のように構成されてる。

【0012】図1(a)に示すように、素子の基本構成は基板1上に第1の強磁性膜2/第1の絶縁層(トンネル障壁)3/第2の強磁性膜4/第2の絶縁層(トンネル障壁)5/第3の強磁性層6からなる。これは、絶縁層全てがトンネル障壁を形成している場合である。この場合には絶縁障壁を形成する層と強磁性層の界面で酸素が拡散し、強磁性層が酸化され特性が劣化してしまう。また、多層構造作成時に空气中に放置すると、空氣にさらされた膜面とその上に形成された膜の界面に不純物が混入し特性の劣化(比抵抗の増加)を起こす。そこで、図1(a)で示されるような絶縁層全てがトンネル障壁となるような場合には、トンネル障壁層と強磁性層の界面形成が非常に重要で、必ず真空中で多層構造(多重トンネル障壁層)を形成する。

【0013】また、より安定に特性を得るためにはトンネル障壁を形成する過程でプラズマ酸化あるいは自然酸化の時間、または酸素量を調整して非磁性層(たとえばAl)の一部分だけを酸化させないで残す。あるいは強磁性層とトンネル障壁を形成する層の界面に拡散防止層を挿入する。熱が加わることで強磁性層の結晶粒が成長しトンネル障壁を破壊する場合にはトンネル障壁保護層としてトンネル障壁に影響を与えないような膜をトンネル障壁層と強磁性層の界面に挿入する。なお、前記多層構造(多重トンネル障壁層)を作成する場合には必ず真空中で行う。これらの方法により上記課題を解決する。

#### 【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例の形態について、図1(b)から図3を用いて説明する。

【0015】(実施の形態1)図1(b)は本発明の磁気抵抗効果素子の構成を示している。素子を作成する過程を説明すると、シリコン(Si)基板1上に電極材料1aをスパッタした後、第1の強磁性膜2、絶縁層3を形成するためのアルミウム(Al)をRFスパッタで連続成膜した。その後チャンバー内に酸素を導入してRF逆スパッタを行い酸素プラズマ放電によりアルミニウム(Al)を酸化させアルミナ( $Al_2O_3$ )とした。そして第2の強磁性層4を磁場中で第1に強磁性層2と磁化の向きが直交するように磁場中スパッタした。

【0016】次に絶縁層5を形成するためのアルミニウム(Al)をスパッタし、絶縁層3の場合と同様にチャンバー内に酸素を導入してRF逆スパッタを行い酸素プラズマ放電によりアルミニウム(Al)を酸化させアルミナ(Al

$_2O_3$ )とした。第3の強磁性層6を磁場中で第1の強磁性層の磁化の向きと平行となるようにRFスパッタ装置を用いて連続作製した。

【0017】素子の加工および電極形成にはイオンミリング装置及びリアクティブイオンエッチング装置、リフトオフ法を用いて行った。測定はこれらの構成を用いて、第2の強磁性層4を電氣的に接地し、第1の強磁性層2が(+)、第2の強磁性層4が(-)に、第3の強磁性層6が(+)、第2の強磁性層4が(-)に電圧が印可されるように接続した。そして磁界を+1kOe〜-1kOeまで変えて測定した結果、第1の強磁性層2/絶縁層(トンネル障壁層)3/第2の強磁性層4の接合で得られた出力と、第2の強磁性層4/絶縁層(トンネル障壁層)5/第3の強磁性層6の接合で得られた出力は大氣中に一度出した場合の素子に比べ特性が向上した。なお、トンネル障壁層を形成するアルミニウム(Al)を酸化させる方法として、アルミニウム(Al)をスパッタした後、真空チャンバー内に酸素を導入して放置する自然酸化でも同様な効果が得られる。

【0018】(実施の形態2)図2は本発明の磁気抵抗効果素子の構成を示している。素子を作成する過程を以下に説明する。シリコン(Si)基板1上に電極材料1a、第1の強磁性膜2、絶縁層3を形成するためのアルミウム(Al)をRFスパッタで連続成膜した。その後チャンバー内に酸素を導入してRF逆スパッタを行い酸素プラズマ放電によりアルミニウム(Al)を酸化させアルミナ( $Al_2O_3$ )とした。このとき酸素導入量と時間を制御して、アルミニウム(Al)の酸化を行い、強磁性層側の一部分だけを酸化させないでアルミニウム(Al)のまま残す構造(非酸化層9)とした。

【0019】そして第2の強磁性層4を磁場中で第1に強磁性層2と磁化の向きが直交するようにスパッタした。次に絶縁層5を形成するためのアルミニウム(Al)をスパッタし、絶縁層3の場合と同様にチャンバー内に酸素を導入してRF逆スパッタを行い酸素プラズマ放電によりアルミニウム(Al)を酸化させアルミナ( $Al_2O_3$ )とした。このとき酸素導入量と時間を制御して、アルミニウムの酸化を行い、強磁性層側の一部分だけを酸化させないでアルミニウムのまま残す構造(非酸化層9)とした。

【0020】第3の強磁性層6を磁場中で第1の強磁性層の磁化の向きと平行となるようにRFスパッタ装置を用いて連続作製した。素子の加工および電極形成にはイオンミリング装置及びリアクティブイオンエッチング装置、リフトオフ法を用いて行った。測定は実施の形態1と同様な方法で行った。この結果、絶縁障壁層と強磁性層の片方の界面に酸化されてないアルミニウム(Al)がある場合とない場合では、アルミニウム(Al)が一部残っている構成のほうが安定な特性が得られ、さらに素子化の過程で熱が加わった場合、強磁性層の結晶粒の成長に

伴う界面の乱れが原因で起こるトンネル障壁層の破壊を防止する効果が見られた。なお、トンネル障壁層を形成するアルミニウム (Al) を酸化させる方法として、アルミニウム (Al) をスパッタした後、真空チャンバー内に酸素を導入して放置する自然酸化でも同様な効果が得られる。

【0021】(実施の形態3) 図3(a)は本発明の磁気抵抗効果素子の構成を示している。素子を作成する過程を以下に説明する。シリコン (Si) 基板1上に電極材料1a、第1の強磁性膜2、絶縁層3を形成するためのアルミニウム (Al) をRFスパッタで連続成膜した。その後チャンバー内に酸素を導入してRF逆スパッタを行い酸素プラズマ放電によりアルミニウム (Al) を酸化させアルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) とした。このとき酸素導入量と時間を制御して、アルミニウム (Al) の酸化を行い、強磁性層側の一部分だけを酸化させないでアルミニウム (Al) のまま残す構造 (非酸化層9) とした。

【0022】そして、その上にトンネル障壁保護層3aとしてアルミニウム (Al) をスパッタし、第2の強磁性層4を磁場中で第1に強磁性層2と磁化の向きが直交するようにスパッタした。次に絶縁層5を形成するためのアルミニウム (Al) をスパッタし、絶縁層3の場合と同様にチャンバー内に酸素を導入してRF逆スパッタを行い酸素プラズマ放電によりアルミニウム (Al) を酸化させアルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) とした。

【0023】このとき酸素導入量と時間を制御して、アルミニウムの酸化を行い、強磁性層側の一部分だけを酸化させないでアルミニウムのまま残す構造 (非酸化層9) とした。そして、その上にトンネル障壁保護層5aとしてアルミニウム (Al) をスパッタし、第3の強磁性層6を磁場中で第1の強磁性層の磁化の向きと平行となるようにRFスパッタ装置を用いて連続作製した。素子の加工および電極形成にはイオンミリング装置及びリアクティブイオンエッチング装置、リフトオフ法を用いて行った。

【0024】測定は実施の形態1と同様な方法で行った。この結果、絶縁障壁層と強磁性層の両方の界面に酸化されてないアルミニウム (Al) がある場合と片方にしかない場合、そして全くない場合では、アルミニウム (Al) が両方の界面に挿入されている構成のほうが安定な特性が得られ、第2の強磁性層4の軟磁性としての特性も向上した。さらに素子化の過程で熱が加わった場合、強磁性層の結晶粒の成長に伴う界面の乱れが原因で起こるトンネル障壁層の破壊を防止する効果が見られた。なお、トンネル障壁層を形成するアルミニウム (Al) を酸化させる方法として、アルミニウム (Al) をスパッタした後、真空チャンバー内に酸素を導入して放置する自然酸化でも同様な効果が得られる。

【0025】(実施の形態4) 図3(b)は本発明の磁気抵抗効果素子の構成を示している。素子を作成する過程

を説明すると、シリコン (Si) 基板1上に電極材料1aをスパッタして、第1の強磁性膜2をスパッタした後、トンネル障壁保護層3bとして金 (Au) をスパッタし、そして絶縁層3を形成するためのアルミニウム (Al) をRFスパッタで連続成膜した。その後チャンバー内に酸素を導入してRF逆スパッタを行い酸素プラズマ放電によりアルミニウム (Al) を酸化させアルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) とした。

【0026】その上トンネル障壁保護層3bとして金 (Au) をスパッタした後、第2の強磁性層4を磁場中で第1に強磁性層2と磁化の向きが直交するように磁場中スパッタした。そしてその上にトンネル障壁保護層5bとして金 (Au)、絶縁層5を形成するためのアルミニウム (Al) をスパッタし、絶縁層3の場合と同様にチャンバー内に酸素を導入してRF逆スパッタを行い酸素プラズマ放電によりアルミニウム (Al) を酸化させアルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) とした。その上にトンネル障壁保護層5bとして金 (Au)、第3の強磁性層6を磁場中で第1の強磁性層の磁化の向きと平行となるようにRFスパッタ装置を用いて連続作製した。素子の加工および電極形成にはイオンミリング装置及びリアクティブイオンエッチング装置、リフトオフ法を用いて行った。

【0027】測定は実施の形態1と同様な方法で行った。この結果、絶縁障壁層と強磁性層の両方の界面にトンネル障壁防護層である金 (Au) がある場合とない場合では、トンネル障壁防護層である金 (Au) が両方の界面に挿入されている構成のほうが安定な特性が得られ、第2の強磁性層4の軟磁性としての特性も向上した。

【0028】さらに素子化の過程で熱が加わった場合、強磁性層の結晶粒の成長に伴う界面の乱れが原因で起こるトンネル障壁層の破壊を防止する効果が見られた。なお、トンネル障壁層を形成するアルミニウム (Al) を酸化させる方法として、アルミニウム (Al) をスパッタした後、真空チャンバー内に酸素を導入して放置する自然酸化でも同様な効果が得られる。これらの

(実施の形態5) 構成は実施の形態4と同様で、トンネル障壁防護層を磁性体にした場合を説明する。まず、素子を作成する過程を説明すると、シリコン (Si) 基板1上に電極材料1aをスパッタして、第1の強磁性膜2をスパッタした後、トンネル障壁保護層3cとしてアモルファス磁性材料をスパッタし、そして絶縁層3を形成するためのアルミニウム (Al) をRFスパッタで連続成膜した。その後チャンバー内に酸素を導入してRF逆スパッタを行い酸素プラズマ放電によりアルミニウム (Al) を酸化させアルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) とした。

【0029】その上トンネル障壁保護層3cとしてアモルファス磁性材料をスパッタした後、第2の強磁性層4を磁場中で第1に強磁性層2と磁化の向きが直交するように磁場中スパッタした。そしてその上にトンネル障壁保護層5cとしてアモルファス磁性材料、絶縁層5を形成するためのアルミニウム (Al) をスパッタし、絶縁層3



の場合と同様にチャンバー内に酸素を導入してRF逆スパッタを行い酸素プラズマ放電によりアルミニウム(Al)を酸化させアルミナ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )とした。

【0030】その上にトンネル障壁保護層5cとしてアモルファス磁性材料、第3の強磁性層6を磁場中で第1の強磁性層の磁化の向きと平行となるようにRFスパッタ装置を用いて連続作製した。素子の加工および電極形成にはイオンミリング装置及びリアクティブイオンエッチング装置、リフトオフ法を用いて行った。測定は実施の形態1と同様な方法で行った。この結果、絶縁障壁層と強磁性層の両方の界面にトンネル障壁防護層であるアモルファス磁性材料がある場合とない場合では、トンネル障壁防護層であるアモルファス磁性材料が両方の界面に挿入されている構成のほうが安定な特性が得られ、さらに素子化の過程で熱が加わった場合、強磁性層の結晶粒の成長に伴う界面の乱れが原因で起こるトンネル障壁層の破壊を防止する効果が見られた。

【0031】なお、トンネル障壁層を形成するアルミニウム(Al)を酸化させる方法として、アルミニウム(Al)をスパッタした後、真空チャンバー内に酸素を導入して放置する自然酸化でも同様な効果が得られる。

【0032】(実施の形態6)構成は実施の形態4と同様で、トンネル障壁防護層を酸化物にした場合を説明する。まず、素子を作成する過程を説明すると、シリコン(Si)基板1上に電極材料1aをスパッタして、第1の強磁性膜2をスパッタした後、トンネル障壁保護層3dとして酸化物(NiO)をスパッタし、そして絶縁層3を形成するためのアルミニウム(Al)をRFスパッタで連続成膜した。その後チャンバー内に酸素を導入してRF逆スパッタを行い酸素プラズマ放電によりアルミニウム(Al)を酸化させアルミナ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )とした。その上トンネル障壁保護層3dとして酸化物(NiO)をスパッタした後、第2の強磁性層4を磁場中で第1に強磁性層2と磁化の向きが直交するように磁場中スパッタした。そしてその上にトンネル障壁保護層5dとして酸化物(NiO)、絶縁層5を形成するためのアルミニウム(Al)をスパッタし、絶縁層3の場合と同様にチャンバー内に酸素を導入してRF逆スパッタを行い酸素プラズマ放電によりアルミニウム(Al)を酸化させアルミナ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )とした。その上にトンネル障壁保護層5dとして酸化物(NiO)、第3の強磁性層6を磁場中で第1の強磁性層の磁化の向きと平行となるようにRFスパッタ装置を用いて連続作製した。素子の加工および電極形成にはイオンミリング装置及びリアクティブイオンエッチング装置、リフトオフ法を用いて行った。

【0033】測定は実施の形態1と同様な方法で行った。この結果、絶縁障壁層と強磁性層の両方の界面にトンネル障壁防護層である酸化物(NiO)がある場合とない場合では、トンネル障壁防護層である酸化物(NiO)が両方の界面に挿入されている構成のほうが安定な特性が得られ、さらに素子化の過程で熱が加わった場合、強磁性

層の結晶粒の成長に伴う界面の乱れが原因で起こるトンネル障壁層の破壊を防止する効果が見られた。なお、トンネル障壁層を形成するアルミニウム(Al)を酸化させる方法として、アルミニウム(Al)をスパッタした後、真空チャンバー内に酸素を導入して放置する自然酸化でも同様な効果が得られる。

【0034】

【実施例】以下具体的な実施例により、この発明の効果の説明を行う。

【0035】(実施例1)スパッタ装置を用いて以下に示した構成の磁気抵抗効果素子をSi基板上に作成した。

【0036】

$[\text{Fe}(100)/\text{Al}_2\text{O}_3(15)/\text{CoFe}(100)/\text{Al}_2\text{O}_3(15)/\text{Fe}(100)]$

但し、( )内の単位は $\text{\AA}$ である。

【0037】第1の強磁性層Fe及び第3の強磁性層Feの磁化方向が互いに同方向を向くように磁場中スパッタを行い、第2の強磁性層CoFeの磁化方向がFeと直交するように磁場中スパッタを行った。トンネル障壁層( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )はアルミニウム(Al)をスパッタした後、RF逆スパッタによるプラズマ酸化法で作成した。

【0038】なお、これらの多層構造の作成は全て真空中で行った。電極形成および素子加工にはイオンエッチング、リアクティブエッチング、リフトオフ法を使用した。 $\text{Fe}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CoFe}$ 、 $\text{CoFe}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}$ のそれぞれの接合に対して接続して磁気抵抗効果の測定を行った。磁気抵抗効果の測定は磁界を軟磁性を示すCoFe膜の磁化困難軸方向に印加して測定した。

【0039】この結果、 $\text{Fe}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CoFe}$ 、 $\text{CoFe}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}$ それぞれの接合から抵抗変化率が21%、25%の結果が得られた。また、構成は同様な構成を用いてトンネル障壁層( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )を作成後に大気中に放置して、その上に強磁性層CoFe、Feを形成した。

【0040】電極形成および素子加工にはイオンエッチング、リアクティブエッチング、リフトオフ法を使用した。 $\text{Fe}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CoFe}$ 、 $\text{CoFe}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}$ のそれぞれの接合に対して接続して磁気抵抗効果の測定を行った。

【0041】磁気抵抗効果の測定は磁界を軟磁性を示すCoFe膜の磁化困難軸方向に印加して測定した。この結果、 $\text{Fe}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CoFe}$ 、 $\text{CoFe}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}$ それぞれの接合から抵抗変化率が14%、12%の結果が得られた。以上より多層膜形成において一度も大気に触れさせることなく真空中で作成したほうが抵抗変化率も向上する。

【0042】よって磁気抵抗効果素子、磁気抵抗効果型ヘッドにおいて実用的な特性を示すことは明らかである。

【0043】(実施例2)スパッタ装置を用いて以下に示した構成の磁気抵抗効果素子をSi基板上に作成した。

【0044】 $[\text{Fe}(100)/\text{Al}+\text{Al}_2\text{O}_3(20)/\text{CoFe}(100)/\text{Al}+\text{Al}_2\text{O}_3(20)/\text{Fe}(100)]$

但し、( )内の単位は $\text{\AA}$ である。

【0045】第1の強磁性層Fe及び第3の強磁性層Feの磁化方向が互いに同方向を向くように磁場中スパッタを行い、第2の強磁性層CoFeの磁化方向がFeと直交するように磁場中スパッタを行った。トンネル障壁層( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )はアルミニウム(Al)をスパッタした後、RF逆スパッタによるプラズマ酸化法で作成した。このときチャンバー内に導入する酸素の量とプラズマ放電の時間で酸化層の厚みを制御して一部分アルミニウム(Al)のまま残した構造にした。なおこれらの多層構造の作成は全て真空中で行った。電極形成および素子加工にはイオンエッチング、リアクティブエッチング、リフトオフ法を使用した。Fe/Al+ $\text{Al}_2\text{O}_3$ /CoFe、CoFe/Al+ $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Feのそれぞれの接合に対して接続して磁気抵抗効果の測定を行った。磁気抵抗効果の測定は磁界を軟磁性を示すCoFe膜の磁化困難軸方向に印加して測定した。

【0046】この結果、Fe/Al+ $\text{Al}_2\text{O}_3$ /CoFe、CoFe/Al+ $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Feそれぞれの接合から抵抗変化率が28%、29%の結果が得られた。また、歩留まりも向上した。以上よりトンネル障壁層の一部を酸化させないで残した構造を用いたほうが抵抗変化率も向上する。よって磁気抵抗効果素子、磁気抵抗効果型ヘッドにおいて実用的な特性を示すことは明らかである。

【0047】(実施例3)スパッタ装置を用いて以下に示した構成の磁気抵抗効果素子をSi基板上に作成した。

【0048】[Fe(100)/Al+ $\text{Al}_2\text{O}_3$ (20)/Al(5)/CoFe(100)/Al+ $\text{Al}_2\text{O}_3$ (20)/Al(5)/Fe(100)]

但し、( )内の単位は $\text{\AA}$ である。

【0049】第1の強磁性層Fe及び第3の強磁性層Feの磁化方向が互いに同方向を向くように磁場中スパッタを行い、第2の強磁性層CoFeの磁化方向がFeと直交するように磁場中スパッタを行った。トンネル障壁層( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )はアルミニウム(Al)をスパッタした後、RF逆スパッタによるプラズマ酸化法で作成した。このときチャンバー内に導入する酸素の量とプラズマ放電の時間で酸化層の厚みを制御して一部分アルミニウム(Al)のまま残した構造にした。また、もう一方の界面には再度アルミニウム(Al)を5 $\text{\AA}$ スパッタした。なおこれらの多層構造の作成は全て真空中で行った。電極形成および素子加工にはイオンエッチング、リアクティブエッチング、リフトオフ法を使用した。Fe/Al+ $\text{Al}_2\text{O}_3$ /CoFe、CoFe/Al+ $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Feのそれぞれの接合に対して接続して磁気抵抗効果の測定を行った。磁気抵抗効果の測定は磁界を軟磁性を示すCoFe膜の磁化困難軸方向に印加して測定した。

【0050】この結果、Fe/Al+ $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Al/CoFe、CoFe/Al+ $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Al/Feそれぞれの接合から抵抗変化率が27%、28%の結果が得られた。また、歩留まりもトンネル障壁層の片側にアルミニウム(Al)がある場合に比べ15%向上した。その上、耐熱性に関しても100℃程度の向上が見られた。以上よりトンネル障壁層の両側にアルミニウム(Al)が挿入された構造を用いたほうが歩留まり、耐

熱性の面から特性の向上が見られた。よって磁気抵抗効果素子、磁気抵抗効果型ヘッドにおいて実用的な特性を示すことは明らかである。

【0051】(実施例4)スパッタ装置を用いて以下に示した構成の磁気抵抗効果素子をSi基板上に作成した。

【0052】[Fe(100)/Au(5)/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ (15)/Au(5)/CoFe(100)/Au(5)/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ (15)/Au(5)/Fe(100)]

但し、( )内の単位は $\text{\AA}$ である。

【0053】第1の強磁性層Fe及び第3の強磁性層Feの磁化方向が互いに同方向を向くように磁場中スパッタを行い、第2の強磁性層CoFeの磁化方向がFeと直交するように磁場中スパッタを行った。トンネル障壁層( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )はアルミニウム(Al)をスパッタした後、RF逆スパッタによるプラズマ酸化法で作成した。このときチャンバー内に導入する酸素の量とプラズマ放電の時間で酸化層の厚みを制御して全てがアルミナ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )とした。また、トンネル障壁層( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )の両界面には金(Au)を5 $\text{\AA}$ スパッタした。なおこれらの多層構造の作成は全て真空中で行った。電極形成および素子加工にはイオンエッチング、リアクティブエッチング、リフトオフ法を使用した。Fe/Au/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Au/CoFe、CoFe/Au/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Au/Feのそれぞれの接合に対して接続して磁気抵抗効果の測定を行った。磁気抵抗効果の測定は磁界を軟磁性を示すCoFe膜の磁化困難軸方向に印加して測定した。

【0054】この結果、Fe/Au/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Au/CoFe、CoFe/Au/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ /Au/Feそれぞれの接合から抵抗変化率が25%、26%の結果が得られた。また、歩留まりもトンネル障壁層の両側に金(Au)がある場合に比べ同程度であった。

【0055】その上、耐熱性に関しても100℃程度と同程度の特性が得られた。以上よりトンネル障壁層の両側にアルミニウム(Al)が挿入された構造を用いたほうが歩留まり、耐熱性の面から特性の向上が見られた。よって磁気抵抗効果素子、磁気抵抗効果型ヘッドにおいて実用的な特性を示すことは明らかである。

【0056】(実施例5)スパッタ装置を用いて以下に示した構成の磁気抵抗効果素子をSi基板上に作成した。

【0057】[Fe(100)/CoZrTa(50)/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ (15)/CoZrTa(50)/CoFe(100)/CoZrTa(50)/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ (15)/CoZrTa(50)/Fe(100)]

但し、( )内の単位は $\text{\AA}$ である。

【0058】第1の強磁性層Fe及び第3の強磁性層Feの磁化方向が互いに同方向を向くように磁場中スパッタを行い、第2の強磁性層CoFeの磁化方向がFeと直交するように磁場中スパッタを行った。トンネル障壁層( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )はアルミニウム(Al)をスパッタした後、RF逆スパッタによるプラズマ酸化法で作成した。このときチャンバー内に導入する酸素の量とプラズマ放電の時間で酸化層の厚みを制御して全てがアルミナ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )とした。また、トンネル障壁層( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )の両界面にはアモルファス材料のCoZrTaを50 $\text{\AA}$ スパッタした。なおこれらの多層



構造の作成は全て真空中で行った。電極形成および素子加工にはイオンエッチング、リアクティブエッチング、リフトオフ法を使用した。Fe/CoZrTa/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CoZrTa/CoFe、CoFe/CoZrTa/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CoZrTa/Feのそれぞれの接合に対して接続して磁気抵抗効果の測定を行った。磁気抵抗効果の測定は磁界を軟磁性を示すCoFe膜の磁化困難軸方向に印加して測定した。

【0059】この結果、Fe/CoZrTa/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CoZrTa/CoFe、CoFe/CoZrTa/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CoZrTa/Feそれぞれの接合から抵抗変化率が26%、26%の結果が得られた。また、歩留まりもトンネル障壁層の両側にアルミニウム(Al)がある場合に比べ同程度であった。その上、耐熱性に関しても150℃程度と同程度の特性が得られた。以上よりトンネル障壁層の両側にアモルファス材料が挿入された構造を用いたほうが歩留まり、耐熱性の面から特性の向上が見られた。なお、アモルファス材料の厚みは100以上になると非抵抗が増加してしまい特性が劣化する。従って100以下がよい。よって磁気抵抗効果素子、磁気抵抗効果型ヘッドにおいて実用的な特性を示すことは明らかである。

【0060】(実施例6) スパッタ装置を用いて以下に示した構成の磁気抵抗効果素子をSi基板上に作成した。

【0061】[Fe(100)/NiO(3)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(15)/NiO(3)/CoFe(100)/NiO(3)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(15)/NiO(3)/Fe(100)]

但し、( )内の単位はオングストロームである。

【0062】第1の強磁性層Fe及び第3の強磁性層Feの磁化方向が互いに同方向を向くように磁場中スパッタを行い、第2の強磁性層CoFeの磁化方向がFeと直交するように磁場中スパッタを行った。トンネル障壁層(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)はアルミニウム(Al)をスパッタした後、RF逆スパッタによるプラズマ酸化法で作成した。このときチャンバー内に導入する酸素の量とプラズマ放電の時間で酸化層の厚みを制御して全てがアルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)とした。また、トンネル障壁層(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)の両界面には酸化物のNiOを3スパッタした。なおこれらの多層構造の作成は全て真空中で行った。電極形成および素子加工にはイオンエッチング、リアクティブエッチング、リフトオフ法を使用した。Fe/NiO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/NiO/CoFe、CoFe/NiO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/NiO/Feのそれぞれの接合に対して接続して磁気抵抗効果の測定を行った。磁気抵抗効果の測定は磁界を軟磁性を示すCoFe膜の磁化困難軸方向に印加して測定した。

【0063】この結果、Fe/NiO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/NiO/CoFe、CoFe/NiO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/NiO/Feそれぞれの接合から抵抗変化率が27%、26%の結果が得られた。また、歩留まりもトンネル障壁層の両側にアルミニウム(Al)がある場合に比べ同

程度であった。その上、耐熱性に関しても150℃程度と同程度の特性が得られた。以上よりトンネル障壁層の両側に酸化物が挿入された構造を用いたほうが歩留まり、耐熱性の面から特性の向上が見られた。なお、酸化物の厚みは5以上になると非抵抗が増加してしまい特性が劣化する。従って5以下がよい。よって磁気抵抗効果素子、磁気抵抗効果型ヘッドにおいて実用的な特性を示すことは明らかである。

【0064】

【発明の効果】この発明によれば、室温でかつ実用的な印加磁界で大きな磁気抵抗効果を示す磁気抵抗効果素子を得ることができ、高感度磁気抵抗効果素子、MRヘッド等への応用が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a) 本発明の磁気抵抗効果素子の構成図(絶縁層の全部がトンネル障壁である場合)

(b) 実施の形態1の構成図

【図2】実施の形態2の構成図

【図3】(a) 実施の形態3の構成図

(b) 実施の形態4、5、6の構成図

【図4】(a) 従来のトンネル接合が1つの場合の磁気抵抗効果素子を示す構成図

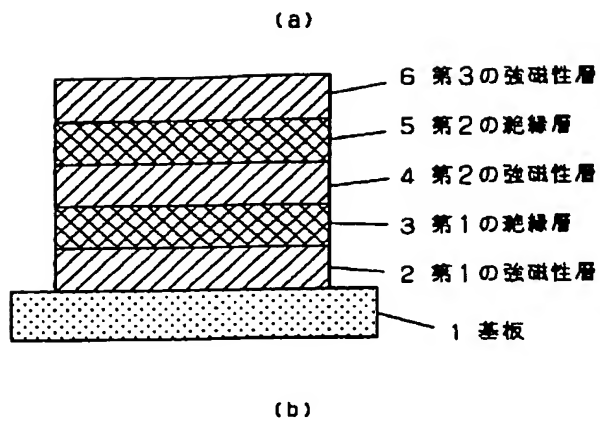
(b) 従来のトンネル接合が1つの場合の磁気抵抗効果素子を示す断面図

(c) 従来のトンネル接合が2つの場合の磁気抵抗効果素子を示す断面図

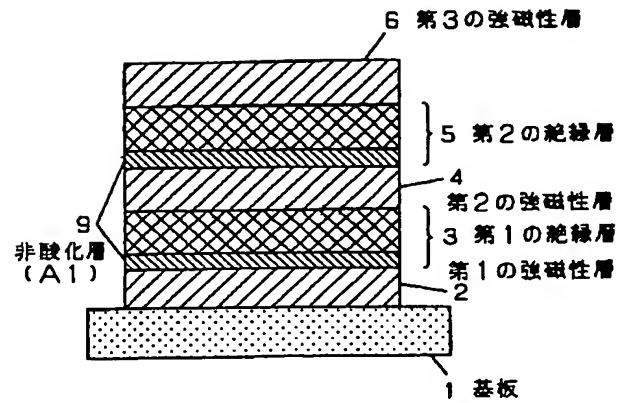
【符号の説明】

- 1 基板
- 1a 電極材料
- 2 第1の強磁性層
- 3 第1の絶縁層(トンネル障壁層)
- 3a トンネル障壁保護層
- 3a' SiO<sub>2</sub>
- 3b トンネル障壁保護層
- 4 第2の強磁性層13
- 5 第2の絶縁層(トンネル障壁層)
- 5a トンネル障壁保護層
- 5b トンネル障壁保護層
- 6 第3の強磁性層
- 7 非酸化層
- a 電極
- b 電極
- c 電極
- d 電極

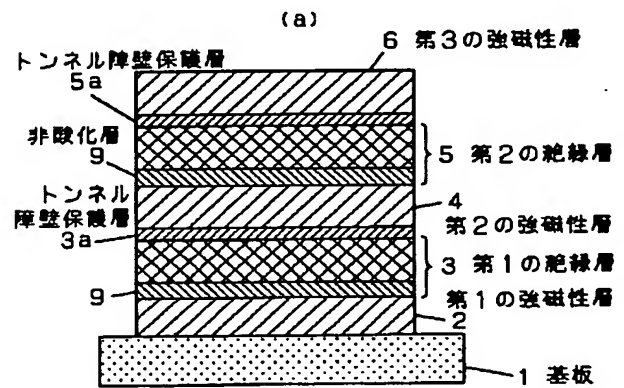
【図1】



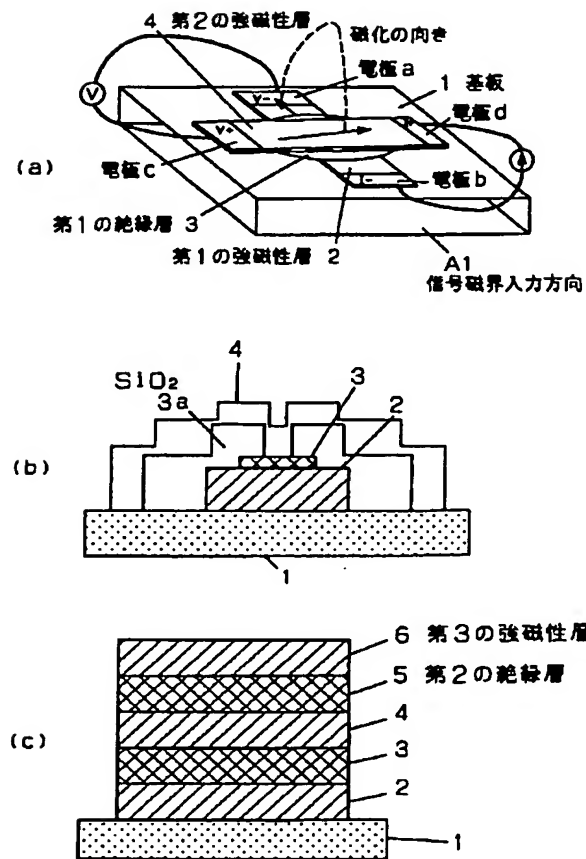
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 辻 弘恭  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 深澤 利雄  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内